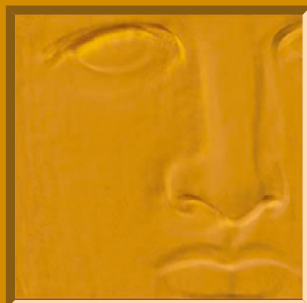
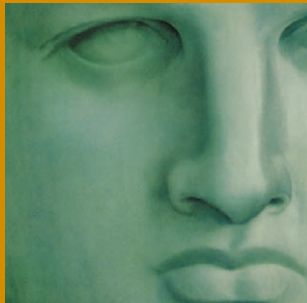


NIEZAWODNOŚĆ DOSTAWY I JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ JAKO KRYTERIA WYZNACZAJĄCE SPOSOBY ZASILANIA ODBIORCÓW I WYKONANIA INSTALACJI ELEKTRYCZNYCH

Prof. dr hab. inż. Henryk Markiewicz

Nr 19/11/2002



Prof. dr hab. inż. Henryk Markiewicz
Instytut Energoelektryki
Politechniki Wrocławskiej

**NIEZAWODNOŚĆ DOSTAWY
I JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ
JAKO KRYTERIA WYZNACZAJĄCE
SPOSOBY ZASILANIA ODBIORCÓW
I WYKONANIA INSTALACJI ELEKTRYCZNYCH**

PCPM nr 19/11/2002

Wrocław 2002

1. WYJAŚNIENIA OGÓLNE I PODSTAWOWE USTALENIA NORMY EN-50160 DOTYCZĄCE JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Wśród większości elektroenergetyków, zajmujących się dostawą i użytkowaniem energii elektrycznej, utrwaliła się już świadomość, że energia jest towarem i jako taka powinna charakteryzować się odpowiednią jakością. Straty z tytułu przerw w zasilaniu oraz niezadowalającej jakości energii są bowiem bardzo duże. Szacuje się, że wynoszą one w Stanach Zjednoczonych 20-30 miliardów dolarów rocznie, a w krajach Unii Europejskiej ponad 10 milionów euro.

Przez dziesięciolecia nie było pełnej zgodności, jakie parametry powinny określać jakość energii i jakie powinny być dopuszczalne zakresy ich odchyłeń od wartości znamionowych. W przeszłości też nie przywiązywano szczególnej uwagi do jakości energii, a podstawowym i często jedynym parametrem określającym jej jakość była wartość skuteczna napięcia zasilającego. Wynikało to w dużym stopniu z rodzaju używanych wówczas odbiorników (żarówki, urządzenia grzejne, silniki) mało wrażliwych na obniżoną jakość energii zasilającej. Obecnie jednak znaczna część, a nawet większość odbiorników to odbiorniki o nieliniowych charakterystykach napięciowo-prądowych, zawierających m.in. elementy energoelektroniczne, bardzo wrażliwe na jakość napięcia zasilającego, przez co problem jakości energii nabral szczególne znaczenia. Jednocześnie takie odbiorniki wprowadzają niekiedy znaczne zakłócenia do sieci, a intensywność ich szkodliwego oddziaływania na jakość energii zależy zarówno od rodzaju odbiorników i ich właściwości technicznych, jak i od stanu technicznego instalacji elektrycznej. W ten sposób dostawca i odbiorca energii elektrycznej stają się na równi współodpowiedzialni za jej jakość i jako tacy powinni ze sobą współpracować.

Szeroka międzynarodowa współpraca w zakresie elektroenergetyki wyrażająca się m.in. wymianą (eksportem, importem) energii elektrycznej oraz różnorodnych urządzeń w dużych ilościach spowodowała, że stało się koniecznością opracowanie i wdrożenie międzynarodowych standardów oceny jakości energii elektrycznej oraz dopuszczalnych zakresów odchyłeń charakterystycznych parametrów określających jakość energii od wartości znamionowych na różnych poziomach napięć. Podobnego ustalenia wymagają warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać różnorodne urządzenia pod względem zakłóceń wprowadzanych do sieci i otoczenia, objawiających się m.in. obniżeniem jakości energii elektrycznej i zakłóceniami w pracy innych urządzeń, jak również wymaganej odporności samych urządzeń na różnorodne zakłócenia i obniżoną jakość energii, zapewniającej prawidłową pracę urządzeń.

Podobne ustalenia powinny dotyczyć również instalacji elektrycznych.

W 1994 r. ustanowiono normę EN-50160 „Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems”. W Polsce normę tą jako PN-EN 50160 „Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych” ustanowiono w 1998 r. Norma ta określa parametry i dopuszczalne zakresy odchyłeń i deformacji napięcia w złączach sieci rozdzielczych niskiego napięcia (do 1000 V) i średniego napięcia (do 35 kV) w warunkach pracy normalnej.

Parametry określające jakość energii elektrycznej oraz ustalenia dotyczące dopuszczalnych zmian wartości tych parametrów zestawiono w tabelicy 1.

Z dokonanego zestawienia wynika, że ustalenia normy nie są szczególnie rygorystyczne dla dostawców energii.

Dla części odbiorców zachowanie przez dostawcę energii wymogów normy EN 50160 nie zabezpiecza ich lub może nie zabezpieczać zadowalająco dobrze przed negatywnymi skutkami przerw w zasilaniu, zapadami napięcia oraz obniżoną jakością energii elektrycznej. Interesy te mogą być zabezpieczane w lepszy sposób przez dobrze dopracowane warunki kontraktu na dostawę energii zawartego pomiędzy dostawcą oraz odbiorcą energii.

Tablica 1. Parametry określające jakość napięcia oraz dopuszczalne odchylenia tych parametrów od wartości znamionowych wg PN-EN-50160

Lp.	Parametr	Warunki pomiaru i dopuszczalne odchylenia od wartości znamionowej
1	2	3
1	Częstotliwość	Wartość średnia częstotliwości mierzona w czasie 10s nie powinna przekraczać o więcej niż $\pm 1\%$ częstotliwości znamionowej tj. (49,5 – 50,5 Hz) przez 95% tygodnia oraz + 4% i -6% tj. 47 – 52 Hz przez pozostałe 5% tygodnia
2	Wartość napięcia zasilającego	Znormalizowane napięcie znamionowe w publicznych sieciach rozdzielczych niskiego napięcia powinno wynosić 400/230 V
3	Zmiany napięcia zasilającego	Średnia wartość skuteczna napięcia mierzona w czasie 10 min. w normalnych warunkach pracy powinna się mieścić w przedziale $\pm 10\%$ napięcia znamionowego przez 95% tygodnia
4	Szybkie zmiany napięcia	Szybkie zmiany napięcia w normalnych warunkach pracy nie powinny przekraczać 5% U_N oraz dopuszcza się, aby w pewnych okolicznościach zmiany te osiągnęły kilka razy w ciągu dnia wartość do 10% U_N
5	Zapady napięcia zasilającego (Rys. 2)	W normalnych warunkach pracy zapady napięcia przekraczające 10% U_N mogą występować od kilkudziesięciu do tysiąca razy w roku; większość zapadów charakteryzuje się czasem trwania krótszym niż 1s i głębokością mniejszą niż 60%
6	Krótkie przerwy w zasilaniu (do 3 minut)	W normalnych warunkach pracy liczba krótkich przerw w zasilaniu może wynosić od kilkudziesięciu do kilkuset w ciągu roku; czasy trwania krótkich przerw w zasilaniu przeważnie nie przekraczają 1s
7	Długie przerwy w zasilaniu (dłuższe niż 3 min.)	W normalnych warunkach pracy liczba przerw w zasilaniu trwających dłużej niż 3 min. może dochodzić do 50 w ciągu roku; nie dotyczy to wyłączeń planowych

1	2	3
8	Przebiecia dorywcze o częstotliwości sieciowej	Niektóre uszkodzenia po stronie pierwotnej transformatora, głównie zwarcia, mogą powodować przebiecia po stronie niskiego napięcia, nie przekraczające z reguły 1500 V. W przypadkach doziemień w sieciach niskiego napięcia, na skutek przesunięcia punktu neutralnego, napięcia faz nieuszkodzonych względem przewodu neutralnego mogą osiągać do $\sqrt{3}$ razy wyższe wartości
9	Przebiecia przejściowe o krótkim czasie trwania, oscylacyjne lub nieoscylacyjne	Przebiecia przejściowe są powodowane przez wyładowania atmosferyczne lub czynności łączeniowe, w tym działaniem bezpieczników; w sieciach niskiego napięcia właściwie chronionych, przebiecia z reguły nie przekraczają 6 kV
10	Niesymetria napięcia zasilającego	Średnie wartości skuteczne składowej symetrycznej przeciwnej mierzone w czasie 10 min., w normalnych warunkach pracy, w okresie każdego tygodnia, w 95% pomiarów nie powinny przekraczać 2% składowej zgodnej; w instalacjach odbiorców zasilanych jednofazowo lub międzyfazowo dopuszcza się niesymetrię w sieci trójfazowej do 3%
11	Harmoniczne napięcia zasilającego	Średnie wartości skuteczne poszczególnych harmoniczných mierzone w czasie 10 min., w normalnych warunkach pracy, w okresie każdego tygodnia, w 95% pomiarów nie powinny przekraczać wartości podanych w tablicy 2. Ponadto współczynnik $THD_u^{*)}$ napięcia zasilającego, uwzględniający harmoniczne do 40 rzędu nie powinien przekraczać 8 %
^{*)} THD_u – współczynnik deformacji napięcia (total harmonic distortion) określony zależnością <div style="text-align: center;"> $THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n U_h^2}}{U_1}$ </div> w której: U_h to wartość skuteczna napięcia n-tej harmonicznej		

Tablica 2. Dopuszczalne wartości skuteczne napięcia poszczególnych harmonicznych U_h wyrażone w procentach harmonicznej podstawowej^{*)}

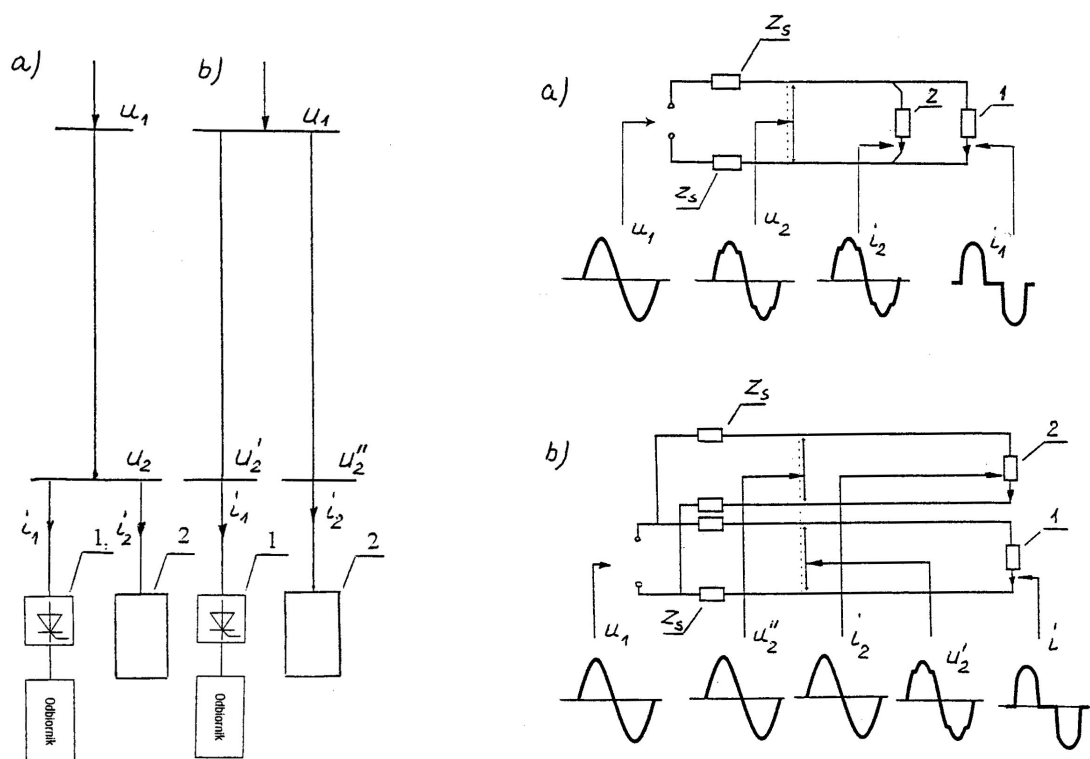
Nieparzyste harmoniczne nie będące krotnością 3			Nieparzyste harmoniczne będące krotnością 3			Parzyste harmoniczne		
Rząd h	Wartość harmoniczna U_h [%]		Rząd h	Wartość harmoniczna U_h [%]		Rząd h	Wartość harmoniczna U_h [%]	
	Sieci nn i ŚN	Sieć WN i NWN		Sieci nn i ŚN	Sieć WN i NWN		Sieci nn i ŚN	Sieć WN i NWN
5	6	2	3	5	2	2	2	1,5
7	5	2	9	1,5	1	4	1	1
11	3,5	1,5	15	0,5	0,3	6	0,5	0,5
13	3	1,5	21	0,5	0,2	8	0,5	0,2
17	2	1	>21		0,2	10	0,5	0,2
19	1,5	1				12	0,5	0,2
23	1,5	0,7				>12	0,5	0,2
25	1,5	9,7						
>25		0,2+						
		$+0,5 \frac{25}{h}$						
^{*)} Dopuszczalne wartości współczynników THD _u : ≤ 8% dla sieci niskiego i średniego napięcia, ≤ 3% dla sieci o napięciu 110 kV i wyższym								

2. PRACA ODBIORNIKÓW PRZY OBNIŻONEJ JAKOŚCI NAPIĘCIA ZASILANIA

Odbiorniki energii elektrycznej pracują w warunkach zbliżonych do optymalnych, jeżeli są one zasilane napięciem równym napięciu znamionowemu lub niewiele różniącym się od tego napięcia, a inne parametry określające jakość energii (tabl. 1) mieszczą się w przedziałach wartości uznawanych za graniczne dopuszczalne.

O pracy odbiorników decyduje każdy z parametrów określających jakość energii wymienionych w tabeli 1. Decydujący wpływ na pracę odbiorników ma jednak wartość napięcia występującego długotrwale na zaciskach przyłączeniowych pracujących odbiorników, nazywane również poziomem napięcia. Zależy on od wartości napięcia źródła zasilania (w złączu), ale również od stanu technicznego instalacji oraz innych odbiorników zasilanych z tej samej sieci i zmienia się wraz ze zmianą liczby i obciążenia pracujących odbiorników na skutek zmian spadków napięcia w poszczególnych elementach sieci. Poziom napięcia jest więc zdarzeniem losowym i jest bardzo trudno, czy wręcz niemożliwe, spełnić warunek, aby napięcie w każdym punkcie sieci było równe znamionowemu. Miarą stałości poziomu napięcia są zmiany i szybkie zmiany napięcia. Również zdarzeniami losowymi, zależnymi w dużym stopniu od liczby i rodzaju zasilanych odbiorników oraz sposobu wykonania, parametrów i stanu technicznego sieci zasilającej i instalacji (rys. 1) są wszystkie inne parametry określające jakość napięcia (energii elektrycznej).

Jakość energii to również niezawodność dostawy odbiorcom, określana częstością i czasami występowania przerw w zasilaniu. Oznacza to bowiem, że wtedy żaden z warunków określających jakość energii (napięcia) nie jest spełniony. Ważne są również częstości, wartości i czasy występowania zapadów napięcia (rys. 2) oraz przepięć w sieci zasilającej.



Rys.1. Przykłady zasilania odbiorników o charakterystykach liniowych i nieliniowych oraz odpowiadające im chwilowe przebiegi prądów i napięć w różnych punktach instalacji:
 a) odbiorniki zasilane wspólną linią,
 b) odbiorniki zasilane oddzielnymi liniami,
 1- odbiorniki nieliniowe, 2 – odbiorniki liniowe, Z_s – impedancja sieci i linii zasilających

Wpływ poziomu (wartości skutecznej) napięcia zasilającego na pracę poszczególnych rodzajów odbiorników może być dokonany w oparciu o zależności matematyczne określające zmiany wartości poszczególnych wielkości fizycznych od wartości napięcia lub odpowiednie charakterystyki przedstawiające zależności różnych wielkości określających pracę odbiorników od napięcia na jego zaciskach.

Strumień świetlny odbiorników oświetleniowych zasilanych napięciem U jest równy

$$\Phi = \Phi_N \left(\frac{U}{U_N} \right)^b \quad (1)$$

gdzie

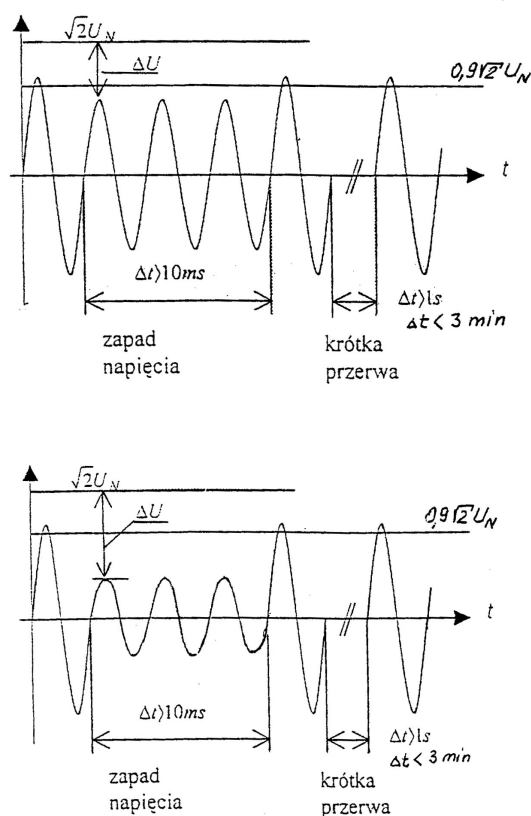
Φ_N to strumień świetlny przy napięciu znamionowym U_N , b - to współczynnik równy 3,6 dla żarówek i 1,8 dla lamp wyładowczych.

Z kolei trwałość żarówek

$$T_u = T_N \left(\frac{U}{U_N} \right)^{-14} \quad (2)$$

gdzie T_N to trwałość znamionowa równa zazwyczaj 1000 h.

W odniesieniu do odbiorników oświetleniowych można uznać, że trwałe 3-4 procentowe odchylenie napięcia od wartości znamionowej nie wywołuje znaczących negatywnych skutków.



Rys. 2. Przykładowe przebiegi zapadów napięcia i krótkich przerw w zasilaniu; U_N – napięcie znamionowe a) zapad płytki, b) zapad głęboki

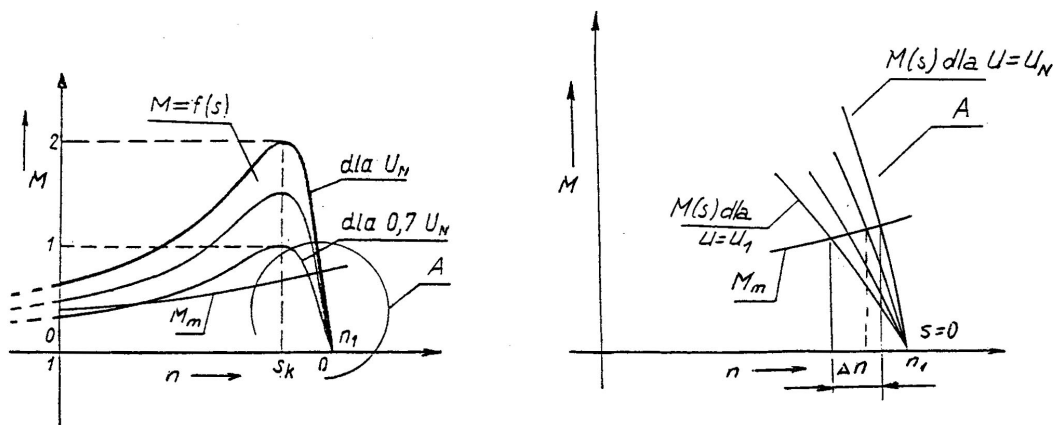
Praca silników przy odchyleniach napięcia ulega umiarkowanym zmianom. Jedynie charakterystyka momentu zależy od kwadratu napięcia zasilającego (rys. 3), co może powodować trudności podczas rozruchu silników przy obniżonym napięciu.

Przy długotrwałych ujemnych odchyleniach napięcia, przekraczających 10%, może dochodzić do nieprawidłowej pracy silników objawiającej się głównie znacznym przegrzaniem i nadmiernym przyrostem temperatury uzwojeń.

W większości innych urządzeń elektrycznych działających w oparciu o różne zasady przemiany energii, najważniejszy z parametrów, jakim jest moc przemiany, zależy od kwadratu napięcia zasilającego. Długotrwałe znaczne zarówno ujemne jak i dodatnie odchylenie od wartości znamionowych może powodować nieprawidłową

pracę urządzeń zakłócających przebieg procesu technologicznego lub powodujących działanie właściwych zabezpieczeń, i wyłączenia a w przypadku ich braku nawet zniszczenie urządzeń.

Można stwierdzić, że trwałe odchylenia napięcia nie przekraczające $\pm 5\%$ napięcia znamionowego nie powodują zauważalnych zakłóceń w pracy urządzeń, a dla wielu urządzeń odchylenia nawet do $\pm 10\%$, o ile nie trwają nadmiernie długo, mogą być uznane za dopuszczalne.



Rys. 3. Wpływ zmian napięcia zasilania na przebiegi charakterystyk momentu silnika asynchronicznego M_m – moment oporowy (hamujący), n_1 – prędkość synchroniczna – liczba obrotów w jednostce czasu (min) odpowiadająca prędkości kątowej wirowania pola magnetycznego ($s = 0$), Δn – różnica obrotów wirnika na minutę przy zmianie napięcia od U_N do U_1

Innym zagadnieniem jest natomiast wydajność produkcji i jakość wyrobów wytwarzanych w warunkach zasilania urządzeń napięciem różnym od znamionowego.

Zmiany napięcia i szybkie zmiany napięcia są powodowane głównie gwałtownymi zmianami obciążenia odbiorników o dużych mocach znamionowych, wywołującymi równie szybkie zmiany spadków napięcia na poszczególnych elementach systemu zasilającego.

Szybkie zmiany napięcia są charakteryzowane:

- amplitudą, będącą różnicą największej i najmniejszej wartości napięcia w czasie wahania,
- częstością występowania,
- czasem trwania wahania.

Najbardziej odczuwalne dla człowieka skutki wahań napięcia zasilającego dotyczą odbiorników oświetleniowych, w szczególności inkandescencyjnych źródeł światła (żarówek). Szybkie zmiany napięcia powodują równie szybkie zmiany skuteczności świetlnej (strumienia świetlnego), co powoduje migotanie światła. Przy pewnej częstości zmian i amplitudzie zmian wywołuje to u ludzi zdenerwowanie

przeradzające się z czasem w niemożliwość wykonywania prac wymagających spostrzegania przedmiotów o małych wymiarach nie kontrastujących z tłem. Wrażliwość na wahania napięcia (migotanie światła) jest odczuciem subiektywnym, przez co może być różne dla każdego człowieka.

Zdecydowana większość odbiorników grzejnych, poza niektórymi o najnowszej technologii (plazmowe, laserowe itp.) są przeważnie mało wrażliwe na wahania napięcia, chociaż część z nich (urządzenia łukowe, indukcyjne) same mogą być źródłem takich zakłóceń.

Urządzeniami szczególnie wrażliwymi na wahania napięcia są natomiast różnorodne przekształtniki prądu i napięcia ze względu na dużą liczbę zainstalowanych w nich urządzeń energoelektronicznych. Nierzadkie są przypadki uszkodzenia tych urządzeń powodowane tym zjawiskiem lub co najmniej ich wyłączenia w wyniku działania właściwych zabezpieczeń.

Asymetrię układu wielofazowego charakteryzuje współczynnik asymetrii będący ilorazem składowej symetrycznej przeciwnej i zgodnej. Występowanie składowej przeciwnej powoduje powstanie w silnikach przeciwnie skierowanego momentu pomniejszającego moment użyteczny. Ponieważ impedancja silników dla składowej przeciwnej prądu jest nawet kilkakrotnie mniejsza od impedancji dla składowej symetrycznej zgodnej, to nawet niewielka zawartość składowej przeciwnej powoduje kilkakrotnie większy przyrost prądu składowej przeciwnej, co wywołuje dodatkowy przyrost temperatury, a przez to nawet bardzo znaczne skrócenie czasu pracy maszyny.

Chwilowy przebieg napięcia prądu przemiennego powinien być sinusoidalny. W rzeczywistości przebieg ten może być w różnym stopniu odkształcony, co jest powodowane w części niewielkim odkształceniem napięcia już na zaciskach generatora lecz głównie pracą odbiorników o nieliniowych charakterystykach prądowo-napięciowych, takich jak przekształtniki, spawarki, piece łukowe, lampy wyładowcze i inne, w szczególności o dużych mocach znamionowych.

Miarą odkształcenia napięcia jest wartość współczynnika THD (total harmonic distortion) określonego względną zawartością w napięciu zasilającym lub prądzie wyższych harmonicznych wg zależności podanej w tablicy 1, poz. 11.

Wyższe harmoniczne oddziałują w różnym stopniu szkodliwie na pracę poszczególnych odbiorników. W silnikach powodują powstanie momentów pasożytniczych asynchronicznych i synchronicznych nakładających się na moment podstawowy (pierwszej harmonicznej), przez co może być utrudniony lub niemożliwy rozruch maszyny, jeżeli moment obciążenia M_m jest większy od wypadkowego momentu elektromagnetycznego M_w występującego „w siodle” (rys. 4). W takich przypadkach silnik może nie ruszyć lub osiągnie jedynie niewielką prędkość kątową i przy tej prędkości pozostanie. Momenty pasożytnicze mogą powodować silne drgania i przez to przyspieszone zużywanie się maszyny.

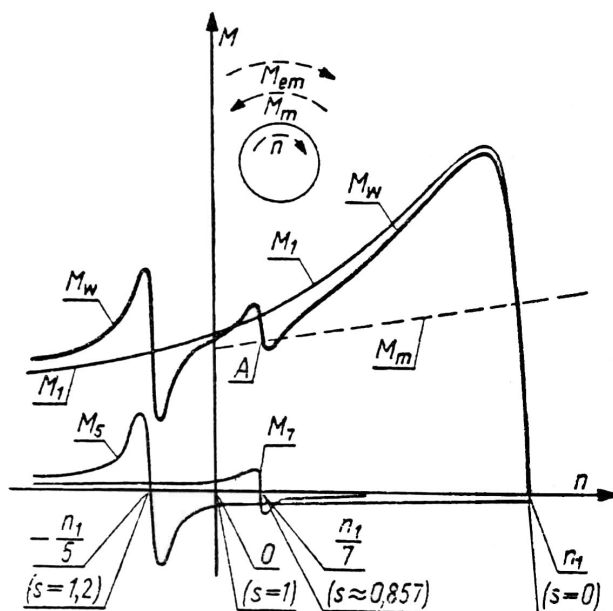
Wyższe harmoniczne w napięciu zasilającym są niekorzystne również dla większości innych odbiorników, gdyż powodują dodatkowe straty mocy czynnej oraz straty dielektryczne powodujące nadmierne nagrzewanie się przewodów, urządzeń na przykład kondensatorów, migotanie światła w lampach wyładowczych, nieselektywne działanie niektórych zabezpieczeń oraz różne inne negatywne skutki.

Wszystkie urządzenia elektryczne powinny być odporne („dopasowane”) do występujących zmian i odkształcenia napięcia zasilającego.

Odstępstwa od wartości znamionowych również innych parametrów określających jakość napięcia stwarzają gorsze warunki odbiorników z różnymi konsekwencjami dla różnych odbiorników.

Straty powodowane przerwami w zasilaniu odbiorców energią elektryczną były już w przeszłości dość dokładnie obliczane, głównie dla różnych gałęzi przemysłu. Wyznaczano tzw. gospodarcze równoważniki niedostarczonej energii określające w jednostkach pieniężnych koszty strat powodowane każdą niedostarczoną kilowatogodziną energii, na przykład w dolarach na 1 kWh. Koszty te są setki, a nawet tysiące razy większe aniżeli same koszty niedostarczonej energii i są tym większe im bardziej skomplikowany i zautomatyzowany jest proces produkcji. Znacznie trudniejsze jest wyznaczenie podobnych równoważników w odniesieniu do strat powodowanych obniżoną jakością energii.

Dokonane oszacowania wykazują, że wartości równoważnika niedostarczonej energii dla odbiorców komunalnych są zbliżone do przeciętnych wartości równoważników dla odbiorców przemysłowych. Przerwy w zasilaniu energią elektryczną odbiorców komunalnych pociągają za sobą straty gospodarcze równoważne stratom, jakie występują w przemyśle, przy tej samej ilości niedostarczonej energii. Wymogi dotyczące pewności zasilania odbiorców komunalnych powinny być zatem praktycznie takie same jak dla odbiorców przemysłowych.



Rys. 4. Wpływ momentów asynchronicznych wyższych harmonicznych na przebieg charakterystyki maszyny asynchronicznej; M_1 , M_5 , M_7 – momenty składowe 1, 5 i 7 harmonicznej; M_w – moment wypadkowy.

3. WYNIKI BADANIA JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W POLSCE

W Polsce przeprowadzono już wielokrotnie badania jakości energii elektrycznej na różnych poziomach napięć w pełnym zakresie przewidywanym przez normę EN 50160. Badania takie były przeprowadzane przez ośrodki naukowe przy współpracy z odpowiednimi służbami energetyki. Poniżej podano niektóre wyniki badań dotyczące sieci rozdzielczej dużego okręgu miejsko-przemysłowego.

Badany fragment systemu elektroenergetycznego dotyczył 3 stacji 110/SN, czterech stacji SN/nn oraz 6 rozdzielni niskiego napięcia. Stacje 110/SN zasilają obiekty przemysłowe (huty) z odbiornikami o dużych mocach znamionowych i nieregularnym poborze mocy (piece łukowe i indukcyjne o mocach od 13 do 48 MVA zasilane napięciem średnim 30 i 20 kV), wprowadzające znaczne zakłócenia do systemu.

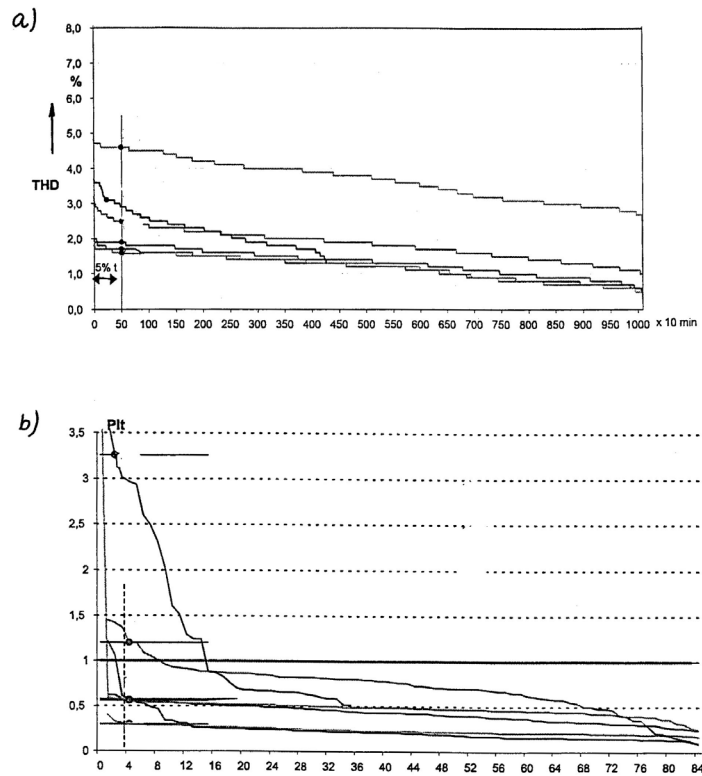
Stacje średniego napięcia (6; 15 i 20 kV) zasilane były liniami 110 kV poprzez transformatory o mocach od 10 do 25 MVA. Zasilają one z kolei sieci rozdzielcze niskiego napięcia, zarówno odbiorców komunalnych jak i przemysłowych (duże osiedla mieszkaniowe, duże budynki biurowe i inne o charakterze przemysłowym).

Badania przeprowadzono przy zastosowaniu specjalistycznego przyrządu OSCILLOSTORE P13 nieprzerwanie w ciągu 7 dni (10.080 minut) poprzez dokonanie 1008 pomiarów wartości średnich z 10 minutowych okresów czasu. Przeprowadzono m.in. pomiary wartości następujących wielkości:

- napięcia w trzech fazach,
- współczynnika odkształcenia napięcia THD_u ,
- współczynnika krótkotrwałej uciążliwości wahań napięcia („flicker”) P_{st} ,
- współczynnika długotrwałej uciążliwości wahań napięcia P_{it} ,
- współczynnika niesymetrii napięcia.

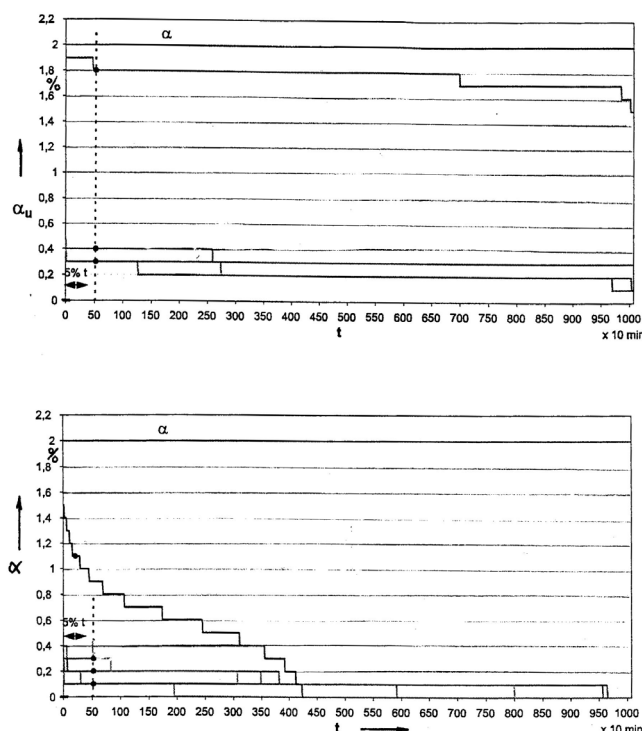
Niektóre wyniki pomiarów przedstawiono na rysunkach 6-7. W odniesieniu do sieci niskiego napięcia (400 / 230 V) przeprowadzone badania uzasadniają następujące wnioski:

- w żadnym z rozpatrywanych przypadków współczynniki odkształcenia $THD_{u95\%}$ nie przekroczyły wartości granicznych dopuszczalnych; znacznie większe wartości współczynnika THD dla jednego z obiektów (rys. 5a) wynikają z faktu, że ta sieć rozdzielcza niskiego napięcia jest zasilana ze stacji 6 kV powiązanej z zasilaniem trakcji kolei elektrycznej;
- współczynniki długotrwałej (P_{it}) uciążliwości wahań napięcia w dwóch przypadkach (rys. 5b) przekraczają wartości graniczne dopuszczalne; jest to efektem powiązania tych sieci ze stacjami 110 kV i średniego napięcia zasilającymi piece łukowe o bardzo dużych mocach znamionowych,



Rys. 5. Wykresy uporządkowane zmierzonych wartości współczynników THD_u (a) oraz P_{st} (b) w rozdzielnicach głównych niskiego napięcia zasilających obiekty komunalne i przemysłowe

- we wszystkich rozpatrywanych przypadkach wartości współczynników asymetrii są mniejsze od dopuszczalnych (rys. 6); znacznie większe wartości współczynników dotyczą jednego obiektu zawierającego wiele jednofazowych urządzeń warsztatowych i maszyn drukarskich, zasilanego bardzo długą linią,
- średnie wartości skuteczne napięć mierzone w czasie 10 minut mieściły się we wszystkich badanych przypadkach w przedziale $\pm 10\%$ napięcia znamionowego przez ponad 95% czasu trwania badań (7 dni).



Rys. 6. Wykresy uporządkowane zmierzonych wartości współczynników niesymetrii napięcia za okres 1 tygodnia: a) w trzech stacjach średniego napięcia, b) na szynach zbiorczych sześciu rozdzielnic głównych niskiego napięcia zasilających obiekty komunalne i przemysłowe.

4. NIEKTÓRE WYMAGANIA DOTYCZĄCE SPOSOBU WYKONANIA INSTALACJI ELEKTRYCZNYCH WYNIKAJĄCE Z WYMOGÓW NIEZAWODNOŚCI DOSTAWY I JAKOŚCI ENERGII

4.1. Układy zasilania

Zasilanie odbiorników elektrycznych zainstalowanych w dowolnym obiekcie budowlanym powinno dokonywać się w sposób ciągły, przy czym skutki przerw i niezadowalającej jakości energii zależą od rodzaju zainstalowanych odbiorników, od uciążliwości po chaos, zagrożenie życia i duże straty materialne, szczególnie w budynkach mieszkalnych tzw. „inteligentnych”, wysokościowych i wysokich oraz użyteczności publicznej (szpitale, duże domy handlowe, banki itp.).

Budynki wymagające podwyższonej lub dużej pewności zasilania powinny być zasilane co najmniej z dwóch niezależnych źródeł z automatyką samoczynnego załączania rezerwy (tabl. 3). Podstawowym źródłem zasilania jest prawie zawsze linia sieci rozdzielczej energetyki. Jako drugie (rezerwowe) źródło zasilania może być zastosowana inna linia sieci rozdzielczej lub/oraz agregat prądotwórczy o odpowiednio

dużej mocy, zdolny do przejścia pełnego obciążenia w krótkim czasie, rzędu pojedynczych sekund.

W obiektach o szczególnie dużych wymaganiach dotyczących pewności zasilania agregat prądotwórczy może być drugim rezerwowym źródłem zasilania, włączającym się samoczynnie w przypadkach braku lub znacznego obniżenia się napięcia w obydwu liniach.

Zasilanie z trzech niezależnych źródeł jest w zasadzie wystarczające nawet w odniesieniu do odbiorników wymagających najwyższej pewności zasilania. W niektórych obiektach mogą jednak występować układy i odbiorniki, dla których nawet to nie jest zadowalająco dobre, bo mogą tu jednak występować wprawdzie bardzo krótkie, bo trwające ułamki sekundy, ale niedopuszczalne przerwy w zasilaniu oraz zapady napięcia. Dotyczy to przede wszystkim zasilania niektórych komputerów oraz ogólnie wielu urządzeń techniki informatycznej. Wymagają one ponadto stałej wartości napięcia zasilającego. Dlatego też takie obwody i odbiorniki powinny być zasilane poprzez urządzenia bezprzerwowego zasilania oznaczone jako UPS (Uninterruptable Power Supply). Niezależnie od konstrukcji urządzenia napięcie na wyjściu UPS-u powinno być napięciem stabilizowanym, o stałej wartości.

4.2. Moce zapotrzebowane

Aby jakość energii elektrycznej (napięcia) na zaciskach przyłączeniowych odbiorników była zadowalająco dobra warunkiem koniecznym, choć niewystarczającym, jest, aby jej jakość była odpowiednio wysoka w złączu. W instalacji elektrycznej dochodzi bowiem do pewnego obniżenia jakości energii powodowanego spadkami napięć. O intensywności tego oddziaływania decydują przede wszystkim wartości przepływających prądów oraz impedancje poszczególnych fragmentów instalacji, zależne od przekrojów przewodów, które dobiera się głównie ze względu na spodziewane długotrwałe obciążenie prądowe tych odcinków instalacji.

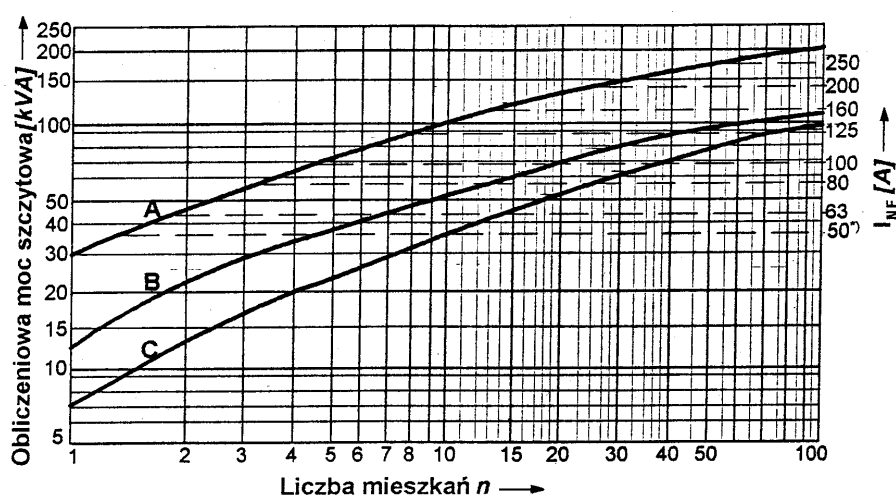
Aby ograniczyć negatywne skutki oddziaływania instalacji do wartości dopuszczalnych, konieczne jest, aby była zachowana odpowiednia konfiguracja instalacji dotycząca głównie liczby wewnętrznych linii zasilających (wlz), liczby odbiorców przyłączonych do poszczególnych wlz, liczby i długości obwodów odbiorczych, oraz aby przekroje przewodów poszczególnych odcinków linii były właściwie dobrane do spodziewanego obciążenia z uwzględnieniem określonego horyzontu czasowego użytkowania instalacji, bez konieczności jej modernizacji, przed upływem tego czasu.

Wymaga to prawidłowego ustalenia mocy zapotrzebowanej przez pojedyncze mieszkania oraz budynki (wlz budynków).

Przy wyznaczaniu tych mocy należy uwolnić się od nawyku zbyt szczegółowego ustalania tych wartości. Budynki i instalacje są przeważnie dłużej użytkowane, aniżeli żyją w nich pierwsi jego mieszkańcy. W trakcie użytkowania budynków ulega zmianie zarówno liczba mieszkańców jak i ich potrzeby związane z konsumpcją energii elektrycznej.

W warunkach polskich, w budownictwie mieszkaniowym można wnioskować przyjmowanie mocy zapotrzebowanych ustalonych w prenormie [6], równe 12,5 kVA na pojedyncze mieszkanie z centralnym zaopatrzeniem w ciepłą wodę oraz 30 kW dla mieszkań, w których przewiduje się przygotowanie ciepłej wody przy zastosowaniu urządzeń elektrycznych, z możliwością zainstalowania przepływowych podgrzewaczy wody.

W budynkach mieszkalnych wielorodzinnych obciążenia wewnętrznych linii zasilających powinny być ustalone w oparciu o rysunek 7, zgodny z [6]. Zasilanie poszczególnych mieszkań powinno być trójfazowe o układzie TN-C-S lub TN-S. W innych krajach mogą obowiązywać inne ustalenia dotyczące mocy zapotrzebowanych.



Rys.7. Wartości obliczeniowych mocy szczytowych i prądy znamionowe wkładek bezpiecznikowych I_{NF} wewnętrznych linii zasilających budynków o liczbie mieszkań n bez ogrzewania elektrycznego.
krzywa A - dla mieszkań nie posiadających zaopatrzenia w ciepłą wodę z zewnętrznej, centralnej sieci grzewczej,

krzywa B - dla mieszkań posiadających zaopatrzenie w ciepłą wodę z zewnętrznej, centralnej sieci grzewczej,

krzywa C - dla mieszkań o obniżonym standardzie.

*) – zalecany minimalny prąd znamionowy wkładki bezpiecznikowej zabezpieczenia przedlicznikowego i wewnętrznej linii zasilającej, ze względu na selektywność działania zabezpieczeń nadprądowych

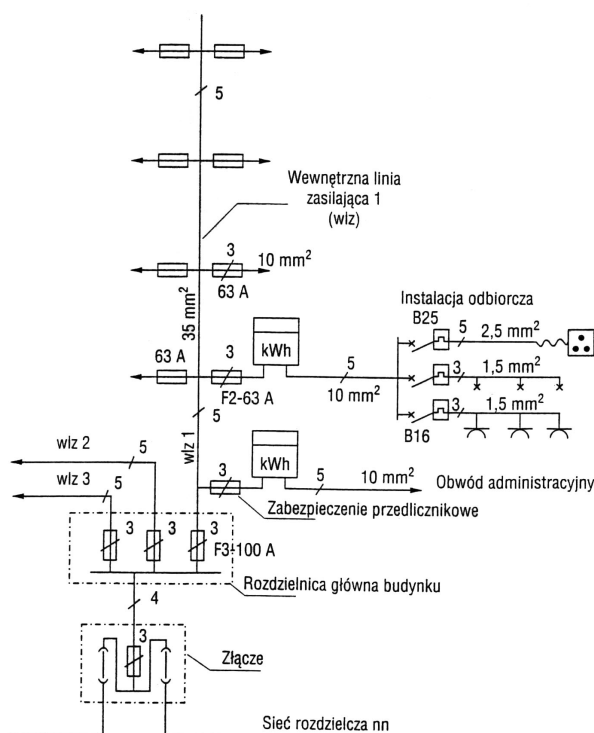
Aby jakość energii była wysoka, a przerwy powodowane działaniem zabezpieczeń dotyczyły niewielkiej liczby odbiorników i jedynie części lokalu, liczba obwodów ogólnego przeznaczenia (oświetlenie, gniazda wtyczkowe) powinna być odpowiednio duża, od 2 w mieszkaniach bardzo małych do 6 i więcej w mieszkaniach o powierzchni większej od 125 m². Odbiorniki o mocy znamionowej większej niż 2-2,5 kW (kuchenki elektryczne, pralki, zmywarki itp.) powinny być zasilane z osobnych obwodów.

Wskazane jest też wykonanie specjalnego obwodu lub obwodów dla zasilania urządzeń komputerowych.

4.3. Zabezpieczenia przetężeniowe

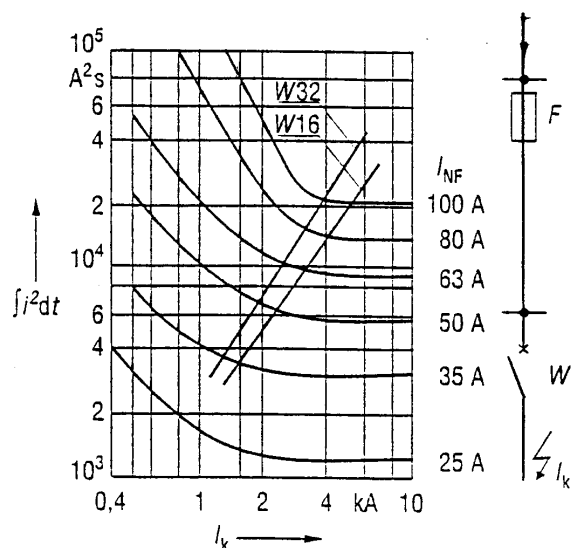
Podstawowym zadaniem zabezpieczeń przetężeniowych, realizowanych przeważnie przez zastosowanie bezpieczników i wyłączników, jest ochrona przewodów i urządzeń przed nadmiernym nagrzaniem powodowanym prądami przeciążeniowymi i zwarciovymi, czego efektem jest przyspieszone zużywanie się instalacji i urządzeń, ich zniszczenie, a w najbardziej niekorzystnych przypadkach również pożar. Z tego względu poprawne wykonanie i działanie zabezpieczeń przetężeniowych ma bardzo duży wpływ na niezawodność zasilania, przez ograniczenie częstości występowania i czasów trwania przerw w zasilaniu.

Instalacje elektryczne w budynkach mieszkalnych, użyteczności publicznej i dowolnych innych wykonuje się zazwyczaj w układach promieniowych, kilkustopniowych, w których występuje kilka zabezpieczeń przetężeniowych połączonych szeregowo (rys. 8). Zabezpieczenia te instaluje się na początku każdej z linii lub obwodu i w miejscach, gdzie zmniejsza się przekrój przewodów. W przypadku zwarcia w dalszej części obwodu prąd zwarciovowy o tej samej wartości przepływa przez kilka urządzeń zabezpieczających. Urządzenia zabezpieczające powinny działać w sposób selektywny, tzn. w razie różnych zakłóceń wywołujących przetężenie powinno działać tylko jedno zabezpieczenie, zainstalowane najbliżej miejsca uszkodzenia w kierunku źródła zasilania. Działanie zabezpieczenia powinno wyeliminować uszkodzone urządzenie lub fragment obwodu, zachowując ciągłość zasilania urządzeń i obwodów nieuszkodzonych.



Rys. 8. Układ zasilania instalacji w budynku mieszkaniowym wielorodzinnym

Zabezpieczenia przetężeniowe działają selektywnie, jeżeli ich pasmowe charakterystyki prądowo-czasowe nie przecinają się ani nie mają wspólnych obszarów działania. W odniesieniu do bezpieczników wymaganie to sprowadza się do warunku, aby prądy znamionowe wkładek bezpiecznikowych kolejnych bezpieczników różniły się co najmniej o 2 stopnie, a więc aby wynosiły np. 25 i 50 lub 63 i 100 A. Stosowanie bezpieczników różniących się o jeden stopień przeważnie nie zapewnia wymaganej selektywności działania, szczególnie przy dużych wartościach prądów zwarciovych.



Rys. 9. Charakterystyki $\int i^2 dt = f(I_k)$ przedlukowe bezpieczników typu gL oraz wyłączania wyłączników instalacyjnych 16 i 32 A

Spełnienie warunku selektywności działania zabezpieczeń przetężeniowych może napotykać na duże trudności w instalacjach o dużych i bardzo dużych wartościach prądów zwarciovych, w których zastosowano wyłączniki w obwodach odbiorczych oraz bezpieczniki jako zabezpieczenia przedlicznikowe i wewnętrznych linii zasilających (wlz). Prądy znamionowe wkładek bezpiecznikowych powinny być dobrane z uwzględnieniem typu i danych znamionowych wyłączników w obwodach odbiorczych oraz wartości prądu zwarciovego (rys. 9).

Firmy wytwarzające wyłączniki podają z reguły w katalogach tablice przedstawiające jakie powinny być co najmniej prądy znamionowe bezpieczników zainstalowanych przed wyłącznikami, które przy określonych wartościach prądów zwarciovych zapewniają selektywne działanie zabezpieczeń. Przy prądach zwarciovych rzędu 3 kA i wyłącznikach 16 A powinny to być z reguły bezpieczniki co najmniej 63 A. Przy większych wartościach prądów zwarciovych wymaga się zastosowania bezpieczników o większych wartościach prądów znamionowych, 80 a nawet 100 A.

Zabezpieczenie przetężeniowe instalacji od złącza do obwodów odbiorczych może być również realizowane z zastosowaniem wyłączników samoczynnych. Aparaty te (z wyjątkiem wyłączników w obwodach odbiorczych) muszą być z wyzwalaczami elektromagnetycznymi dwuczłonowymi, z których jeden jest bezzwłoczny, drugi zaś z krótką nastawialną zwłoką czasową, albo powinny to być wyłączniki selektywne, np. typu S93 firmy AEG lub ELESTER. Są to jednak aparaty wielokrotnie droższe niż bezpieczniki.

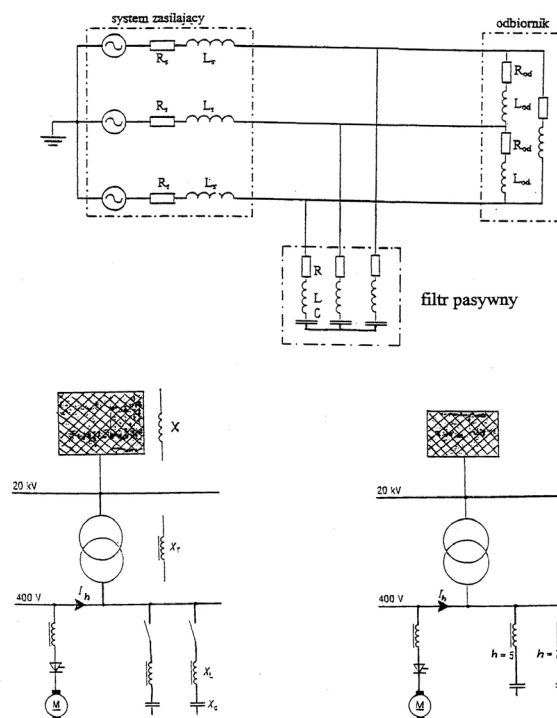
5. NIEKTÓRE USTALENIA DOTYCZĄCE POPRAWY JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Jakość energii elektrycznej jest definiowana różnymi parametrami. Jeżeli pominie się niektóre z nich, takie jak długie zapowiadane przerwy w zasilaniu, zapady napięcia powodowane pracą obcych odbiorników, częstotliwość, przebiegi atmosferyczne, na które odbiorca nie ma wpływu lub jest on niewielki, to najbardziej istotnym parametrem określającym jakość energii elektrycznej staje się napięcie. Na jego jakość odbiorca może mieć już wpływ i to zarówno w sensie pozytywnym jak i negatywnym. Może dokonać, przymuszony niezadowolającymi go warunkami zasilania lub dążeniem do bardziej poprawnej i wydajnej pracy urządzeń odbiorczych, pewnych przedsięwzięć organizacyjnych i technicznych poprawiających jakość napięcia.

Do najprostszych przedsięwzięć zaliczyć można ustalenie i wydzielenie odbiorników o znacznych mocach znamionowych pobierających prąd silnie odkształcony i zasilanie ich osobnymi liniami lub z osobnych obwodów (rys. 1). Do takich odbiorników zaliczyć należy również sprzęt informatyczny (komputery), które powinny być zasilane z wydzielonych obwodów gniazd wtyczkowych.

Czynną ingerencją w poprawę jakości napięcia jest natomiast zastosowanie specjalnych filtrów. Wyróżnia się filtry pasywne (rezonansowe), aktywne oraz hybrydowe, będące połączeniem obydwu konstrukcji.

Filtry pasywne tworzy się z szeregowo połączonych elementów indukcyjnych oraz pojemnościach (rys. 10). Ich parametry dobiera się tak, aby uzyskać rezonans napięć dla dominującej częstotliwości wyższej harmonicznej występującej w prądzie pobieranym przez odbiornik nieliniowy. Bardzo mała impedancja obwodu filtra dla wybranej harmonicznej powoduje, że ta składowa harmoniczna jest zwierana przez filtr, przez co nie oddziałuje ona na sieć zasilającą.

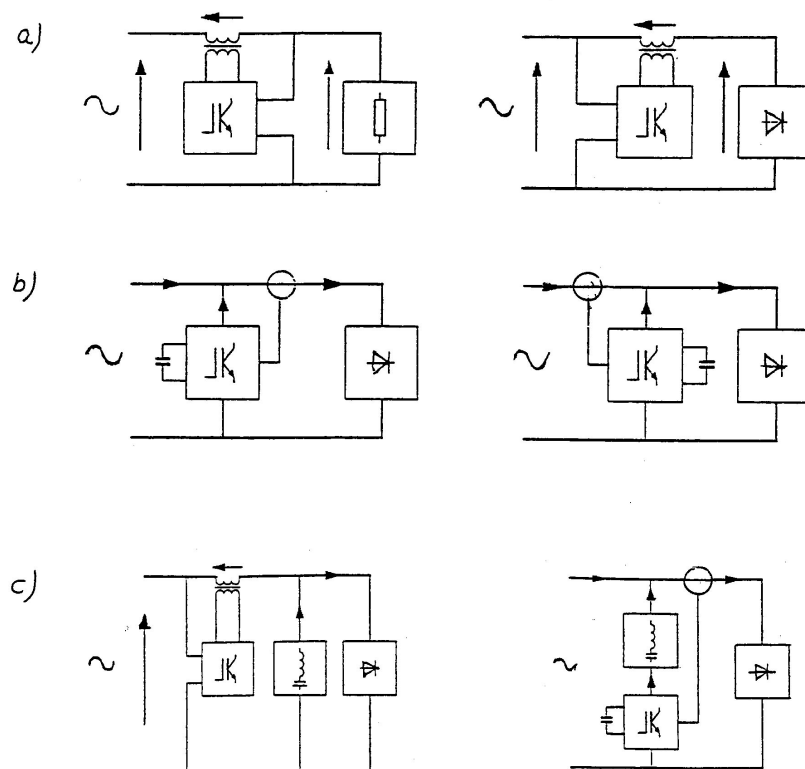


Rys. 10. Schematy filtrów pasywnych: a) schemat wielokreskowy, b) filtr dla jednej dominującej harmonicznej oraz kompensacja mocy biernej, c) filtr dla wielu harmonicznych.

Jeżeli w prądzie występują harmoniczne o różnych częstotliwościach, to może zachodzić konieczność zastosowania kilku filtrów dla poszczególnych harmonicznych (rys. 10c). Możliwe jest też zastosowanie filtrów bardziej złożonych kompensujących prądy więcej niż jednej harmonicznej, szczególnie wyższych rzędów.

Urządzeniami kompensującymi wyższe harmoniczne bardziej skutecznie niż filtry pasywne, oparte o zjawisko rezonansu napięć, są filtry tzw. aktywne, wykonywane w dwóch podstawowych konfiguracjach układowych (rys. 11):

- szeregowej (kompensacja napięciowa),
- równoległej (kompensacja prądowa).



Rys. 11. Różne konstrukcje i różne układy połączeń filtrów aktywnych: a) szeregowy (napięciowy), b) równoległy (prądowy), c) kombinowany (hybrydowy)

Przy kompensacji napięciowej (rys. 11a) w obwód odbiornika lub linii zasilającej zostaje włączone szeregowo uzwojenie wtórne transformatora zasilanego przez falownik półprzewodnikowy, tak sterowany, że w uzwojeniu wtórnym transformatora indukuje się takie napięcie, które sumując się z napięciem linii zasilającej likwiduje lub skutecznie ogranicza zniekształcenie napięcia zasilającego lub zakłócenia wprowadzane do linii przez odbiorniki nieliniowe.

Filtry aktywne pozwalają na:

- eliminację lub znaczne obniżenie wyższych harmoniczných napięć,
- częściową kompensację spadku napięcia w linii zasilającej,
- stabilizację i symetryzację napięć w układach trójfazowych.

Przy kompensacji prądowej (rys. 11b) równoległe z odbiornikiem lub linią włącza się specjalny falownik, rejestrujący m.in. przebieg prądu obciążenia. Jest on źródłem prądu kompensacyjnego oddawanego do sieci. Podczas przerwy w poborze prądu przez odbiornik falownik pobiera prąd z linii gromadząc w ten sposób energię w baterii kondensatorów.

W czasie poboru prądu (impulsowego) przez odbiornik filtr oddaje zgromadzoną energię do linii zasilającej, o takim kształcie prądu, że kompensuje on wyższe harmoniczne prądu odbiornika, przez co przebieg prądu w linii zasilającej jest praktycznie sinusoidalny. Dla takiej linii zespół urządzeń w postaci odbiornika nieliniowego oraz filtru staje się jednym odbiornikiem liniowym nie wprowadzającym zakłóceń. Po zastosowaniu filtru z linii jest pobierany prąd praktycznie jedynie o podstawowej harmonicznej, do tego o znacznie niższej wartości niż prąd odbiornika.

W odniesieniu do odbiorników silnie nieliniowych dużych mocy, w tym również średniego napięcia, zasadne jest niekiedy stosowanie filtrów hybrydowych łączących rozwiązania i właściwości techniczne filtrów rezonansowych oraz aktywnych zarówno o kompensacji napięciowej jak i prądowej.

6. WNIOSKI

1. Ustalenia normy EN 50160 dotyczące wymaganej jakości energii elektrycznej, głównie napięcie w złączu, nie wydają się być ani nadmiernie wygórowane, ani trudne do spełnienia przez dostawców. Uznaje się bowiem m.in., że jej jakość jest zadowalająca, jeżeli średnie wartości skuteczne napięcia z 10-minutowych przedziałów będą pozostawały w zakresie wartości (0,9-1,1) napięcia znamionowego przez 95% czasu wielogodzinnego badania. W najbardziej niekorzystnym przypadku oznacza to, że napięcie może długotrwale pozostawać na poziomie 0,9 napięcia znamionowego, a przez 5% czasu obserwacji może być niższe lub nawet znacznie niższe, a zatem pozostawać w zakresie wartości określonych jako zapad napięcia. Jeżeli do tego zawartość wyższych harmonicznych w napięciu zasilającym, określona współczynnikiem deformacji THD_u , będzie bliska wartości dopuszczalnej równej 8%, to raczej nie należy oczekiwać prawidłowej pracy większości odbiorników elektrycznych.

Wydaje się, że w normie zabrakło dodatkowego warunku, że średnia wartość napięcia z długotrwałego okresu badania nie powinna przekraczać o więcej niż na przykład $\pm 5\%$ napięcia znamionowego.

2. Norma EN 50160 dopuszcza nadmiernie dużą, jak na oczekiwania i potrzeby większości odbiorców, liczbę zapadów napięcia, bo do 1000 razy w roku, bez określenia ich głębokości i czasów trwania. Podobnie duże, bo wynoszące setki razy, są dopuszczalne krótkie i długie przerwy w zasilaniu i to w warunkach określonych jako normalne. Głębokie zapady napięcia, do 0,3-0,01 napięcia znamionowego trwające dłużej niż około 0,3 s, odbierane są przez zabezpieczenia podnapięciowe jako przerwy w zasilaniu, powodujące wyłączenie obwodów. Również dla odbiorników takie zapady napięcia to praktycznie przerwa w zasilaniu ze wszystkimi wynikającymi stąd konsekwencjami. A zatem rzeczywista liczba przerw w zasilaniu, szczególnie krótkotrwałych, może znacznie przekraczać 1000 razy w roku, a jakość energii i niezawodność zasilania, zgodnie z normą, uznaje się ciągle za zadowalającą.

3. Relatywnie niewielkie wymagania normy EN 50160 dotyczące jakości i niezawodności dostawy energii elektrycznej jedynie w ograniczonym stopniu wymuszają czy jedynie zobowiązują dostawców do działań mających na celu dostarczanie energii w sposób bardziej niezawodny, o parametrach równych lub bardzo bliskich znamionowym. W większym stopniu działania takie mogą być powodowane wolnym rynkiem i konkurencją, jeżeli warunki takie w określonych państwach występują.

4. Dla odbiorców o podwyższonych i wysokich wymaganiach dotyczących niezawodności zasilania i jakości energii (tabl. 3) warunki dostawy spełniające w minimalnym stopniu wymagania normy EN 50160, w większości przypadków będą niezadowalające.

5. Aby jakość energii na zaciskach przyłączeniowych odbiorników była bliska tej, jaka występuje w złączu, standard wykonania instalacji elektrycznej powinien być odpowiednio wysoki. Również wykonanie i właściwości techniczne urządzeń i odbiorników zainstalowanych w różnych miejscach instalacji powinny być zgodne z ustaleniami właściwych norm przedmiotowych określających m.in. dopuszczalny poziom zakłóceń wprowadzanych do sieci i otoczenia.

6. Przy obniżonej jakości napięcia zasilania może być zasadna, a niekiedy konieczna jego poprawa. Można to uzyskać m.in. przez ograniczenie niekorzystnego oddziaływania odbiorników o nieliniowych charakterystykach na pracę innych odbiorników lub przez czynną poprawę jakości napięcia przez zastosowanie filtrów wyższych harmonicznych. W odniesieniu do niektórych odbiorników może być zasadne zastosowanie urządzeń rezerwowego (bezprzerwowego) zasilania, w tym UPS-ów.

7. LITERATURA

1. Braniecki A. i in.: Poprawa jakości zasilania w sieciach NN i SN. Elektronizacja 1-2/2001.
2. Chapman D.: Harmonics. Causes and Effects. Cooper Development Association. London, 2001.
3. DIN 18015 Elektrische Anlagen in Wohngebäuden. Teil 1-3, Berlin, Beuth Verlag.
4. EN 50160 Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems. 1994.
5. PN-EN 50160 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych. PKN 1998.
6. P SEP-E-0002 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Podstawy planowania. COSIW SEP, Warszawa 2002.
7. Smajek L.: Jakość energii elektrycznej w Polsce - stan aktualny. Materiały konferencji „Jakość energii elektrycznej w sieciach elektroenergetycznych w Polsce”. PTPiRE Poznań 2000.
8. Seipp G.G.: Elektrische Installationstechnik. Berlin - München, Siemens Aktiengesellschaft 1993.
9. Szprengiel Z.: Jakość energii elektrycznej w świetle normy i przepisów prawnych. „Wiadomości Elektrotechniczne” 1/1999.

Tablica 3. Klasyfikacja odbiorców energii elektrycznej ze względu na wymagania dotyczące pewności zasilania

Kategoria	Wymagania dotyczące pewności zasilania	Sposób realizacji zasilania	Przykłady odbiorców
I	Podstawowe. Uszkodzenia i przerwa w zasilaniu może trwać stosunkowo długo rzędu wielu minut.	Jedną linią z sieci rozdzielczej energetyki. Nie wymaga się rezerwowego zasilania.	Domy jednorodzinne. Domy wielorodzinne niskie.
II	Podwyższone. Przerwa w zasilaniu powinna być ograniczona do kilku lub kilkunastu sekund.	Dwie niezależnymi liniami z sieci energetyki lub jedną linią i agregatem prądotwórczym.	Domy wielorodzinne wysokościowe oraz wysokie.
III	Wysokie. Przerwa w zasilaniu powinna być ograniczona do ≤ 1 s.	Dwie niezależnymi liniami z sieci energetyki oraz urządzenie rezerwowego zasilania z automatyką samoczynnego załączania.	Domy wielorodzinne wysokie, duże hotele, banki, szpitale, rozgłośnie RTV, lotniska, budynki administracji centralnej itp.
IV	Bardzo wysokie (zasilanie bezprzerwowe). Nie dopuszcza się przerwy w zasilaniu wybranych odbiorców.	Jak wyżej lecz jedno z urządzeń rezerwowego zasilania, wirujące lub statyczne, powinno zapewniać bezprzerwowe zasilanie odbiorników.	Całe budynki lub wydzielone oddziały i zespoły urządzeń o szczególnie ważnym przeznaczeniu w budynkach zaliczanych do kategorii III.

MIEDŹ
MĄDRY
WYBÓR



POLSKIE
CENTRUM
PROMOCJI
MIEDZI S.A.

Polskie Centrum Promocji Miedzi S.A.
50-136 Wrocław, Pl. 1 Maja 1-2